

Comunicación AI-11

CASO DE PRECIPITACIONES CONVECTIVAS MUY INTENSAS CON NUBES DE DESARROLLO MODERADO: CATALUÑA 21-9-95. PARTE I: ESTUDIO MEDIANTE DATOS DE TELEDETECCIÓN

Enric Terradellas
Ramón Pascual

CMT de Cataluña (INM)

RESUMEN

El día 21 de setiembre de 1995 se registraron importantes precipitaciones en puntos de la parte central del litoral catalán. La ciudad de Barcelona fue una de las más afectadas. Se describe la evolución de las precipitaciones en Barcelona a partir de los datos de una densa red de estaciones automáticas y del radar meteorológico. Mediante el análisis cualitativo y cuantitativo de las imágenes del satélite Meteosat y de la red de detección de descargas eléctricas, se define y caracteriza la estructura y el ciclo de vida de la convección. En la fase inicial, se producen chubascos de gran intensidad sobre el área de Barcelona, a pesar de que el desarrollo vertical del sistema es moderado, demostrándose así la importancia de una detección precoz.

1. Descripción de las precipitaciones en Barcelona

El día 21 de setiembre de 1995 se registraron importantes precipitaciones en algunos puntos de Cataluña. Las más importantes correspondieron al litoral central —comarcas del *Garraf*, *Baix Llobregat*, *Barcelonès* y *Maresme*— y a la zona comprendida entre las comarcas de *Osona* y *La Garrotxa*, en el interior. De los datos de la red pluviométrica del INM destacan 97,5 mm en Sitges y 73,0 mm en Argenton.

Estas precipitaciones fueron de carácter convectivo y con una distribución espacial muy irregular, por lo que los datos de la red pluviométrica convencional no reflejan exactamente lo ocurrido. Concretamente en la ciudad de Barcelona, se observaron precipitaciones muy intensas que provocaron importantes daños.

Para analizar las precipitaciones de la zona de Barcelona, se dispone de los datos proporcionados por la empresa encargada de la gestión del alcantarillado de la ciudad. Esta empresa dispone de 16 pluviógrafos

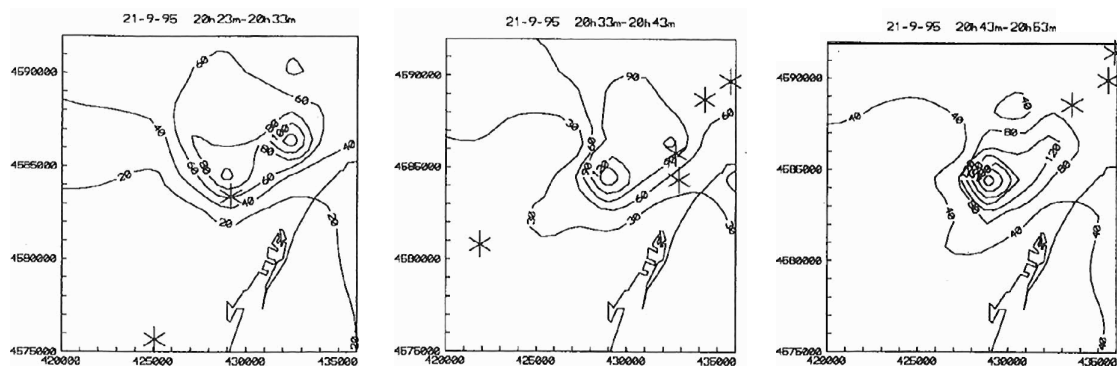


Fig. 1. Precipitación en décimas de mm entre las 20 h 23 min y las 20 h 33 min

Fig. 2. Precipitación en décimas de mm entre las 20 h 33 min y las 20 h 43 min

Fig. 3. Precipitación en décimas de mm entre las 20 h 43 min y las 20 h 53 min

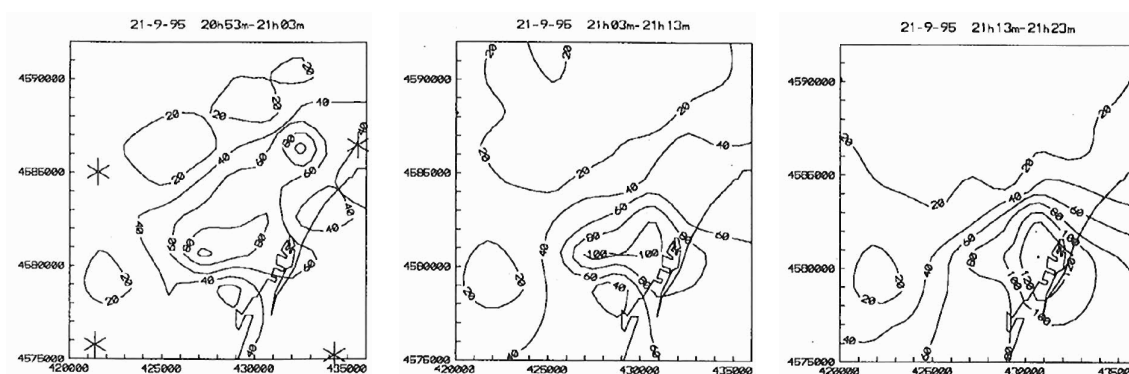


Fig. 4. Precipitación en décimas de mm entre las 20 h 53 min y las 21 h 03 min

Fig. 5. Precipitación en décimas de mm entre las 21 h 03 min y las 21 h 13 min

Fig. 6. Precipitación en décimas de mm entre las 21 h 13 min y las 21 h 23 min

repartidos por el área metropolitana. En ellos, se registraron cantidades muy variables, entre los 12,7 y los 91,9 mm. En las Figs. 1 a 6 pueden verse las isoyetas de la precipitación caída cada 10 minutos, entre las 20 h 23 min y las 21 h 23 min UTC, en el área metropolitana (las figuras están representadas en coordenadas UTM). Sobre las mismas se han dibujado también los rayos registrados durante el período correspondiente por la red de detección de descargas eléctricas del INM.

En las figuras puede apreciarse que las células tormentosas que afectaron a Barcelona se desplazaron lentamente de norte a sur, desapareciendo finalmente hacia el mar.

2. Movimiento del sistema convectivo

Alrededor de las 19 horas comenzaron a detectarse núcleos tormentosos en la cordillera litoral, en las comarcas del *Maresme*, *Barcelonès* y *Garraf*. Estos núcleos se desplazaron muy lentamente hacia el mar, mientras que las células individuales se inclinaban hacia el ENE, de acuerdo con los vientos en los niveles altos. En las Figs. 7 a 10 pueden observarse las descargas eléctricas registradas cada hora, entre las 19 y las 23 horas UTC, por la red de detección del INM.

3. Comparación de los datos de los pluviómetros con los datos del radar

Se dispone de datos de radar correspondientes al día 21, aunque sólo del PPI Doppler.



Fig. 7. Descargas eléctricas detectadas entre las 19 y las 20 horas



Fig. 8. Descargas eléctricas detectadas entre las 20 y las 21 horas



Fig. 9. Descargas eléctricas detectadas entre las 21 y las 22 horas



Fig. 10. Descargas eléctricas detectadas entre las 22 y las 23 horas

A partir de los datos de los pluviómetros, se ha construido para 7 períodos de 10 minutos, centrados en el momento de medición del radar, un grid de valores de precipitación con 4 valores en 72 de las cuadrículas de 1 x 1 km del radar. Se ha considerado la zona y el momento de mayor intensidad de precipitación. A cada cuadrícula de la zona considerada (72 km²) se le ha atribuido una precipitación igual al valor medio de los correspondientes a los 4 puntos de *grid* considerados.

De esta manera se dispone de 504 valores de precipitación en 10 minutos que, una vez convertidos en intensidades, se pueden correlacionar con la reflectividad medida por el radar.

Ajustando una función del tipo

$$Z = a \cdot R^b$$

donde Z es la reflectividad medida en mm⁶/m³ y R la intensidad de la precipitación en mm/h, se han obtenido para los parámetros *a* y *b* los valores siguientes:

$$a = 1\,132 \quad b = 1,52$$

Utilizando estos parámetros, se han transformado los valores de reflectividad medidos por el radar en valores de precipitación. Añadiendo los valores suministrados directamente por los pluviómetros, se han obtenido las isoyetas de precipitación cada 10 minutos entre las 20 h 23 min y las 21 h 53 min — falta uno de los períodos, del que no se dispone de datos del radar —. Ello puede verse en las Figs. 11 a 18, donde se han señalado, también, los rayos registrados por la red de detección del INM. Las figuras están representadas en coordenadas cónicas Lambert, con origen en el radar (41,409°N, 1,886°E).

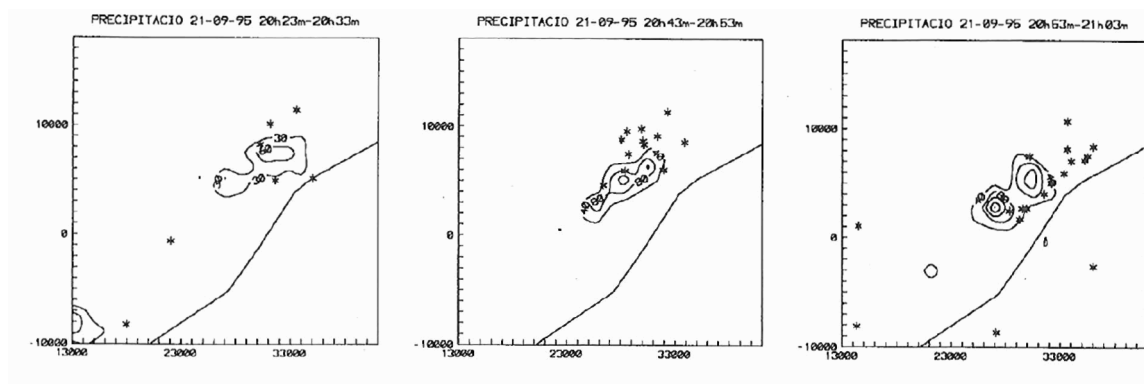


Fig. 11. Precipitación en décimas de mm entre las 20 h 23 min y las 20 h 33 min

Fig. 12. Precipitación en décimas de mm entre las 20 h 43 min y las 20 h 53 min

Fig. 13. Precipitación en décimas de mm entre las 20 h 53 min y las 21 h 03 min

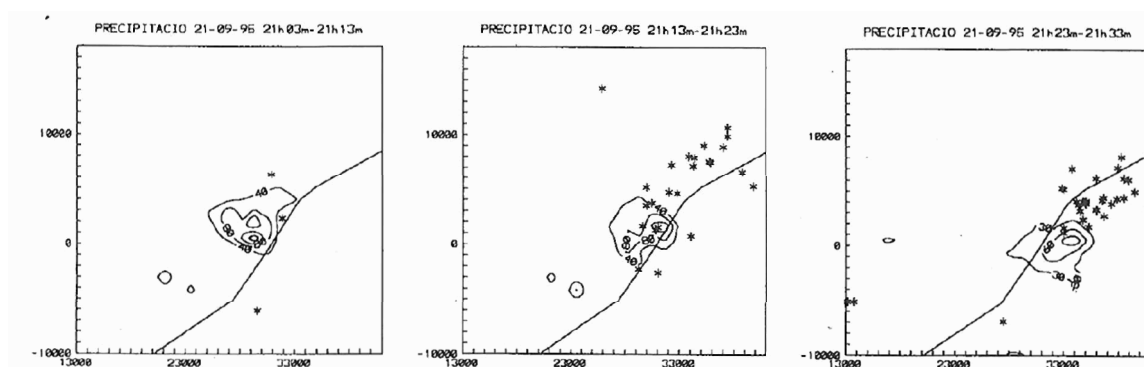


Fig. 14. Precipitación en décimas de mm entre las 21 h 03 min y las 21 h 13 min

Fig. 15. Precipitación en décimas de mm entre las 21 h 13 min y las 21 h 23 min

Fig. 16. Precipitación en décimas de mm entre las 21 h 23 min y las 21 h 33 min

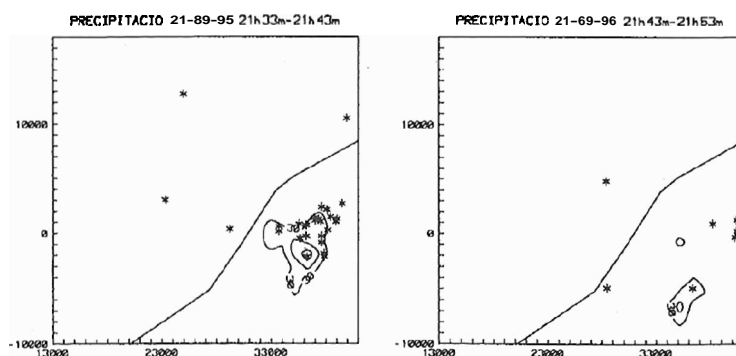


Fig. 17. Precipitación en décimas de mm entre las 21 h 33 min y las 21 h 43 min

Fig. 18. Precipitación en décimas de mm entre las 21 h 43 min y las 21 h 53 min

4. Interpretación subjetiva de las imágenes IR de Meteosat

4.1. Escala sinóptica

Se observa el nacimiento y desarrollo de una hoja baroclina asociada a un máximo de viento en niveles altos, con un desplazamiento desde el golfo de Cádiz —alrededor de las 09 h 30 min del día 21— hasta la zona marítima situada entre las Baleares y el golfo de León —hacia las 03 h 00 min del día 22—. A lo largo de su trayectoria no llega a pasar sobre la vertical de Cataluña - e n los análisis realizados por el Hirlam no se observa ningún máximo de viento en nuestra zona—.

En la imagen de las 09 h 30 min, y como también había ocurrido en días anteriores, se observa la aparición de convección sobre el mar, entre las Baleares y la costa catalana, con una extensión muy rápida de los cirros hacia el NE, coherente con la circulación predominante del SW a niveles altos. Esta convección temprana denota que la situación sinóptica no es inhibidora de la convección y encaja con la inestabilidad potencial presente durante todo el día en esa zona marítima.

A las 18 h 00 min se observan campos de nubes bajas, cúmulos y estratocúmulos, sobre el Pirineo y buena parte del litoral y prelitoral catalanes, y es en este contexto donde se desarrollará la convección profunda. A partir de esta hora, llama la atención la convección que se desarrolla sobre Cataluña y la que, de manera casi simultánea, aparece bajo la hoja baroclina, sobre Baleares y el mar circundante. Observando los movimientos de los distintos núcleos, puede afirmarse que:

- los núcleos marítimos se trasladan con la hoja baroclina,
- el núcleo situado sobre Palma se mantiene estacionario —focalización—,
- la convección sobre Cataluña es independiente de la hoja baroclina, aunque esté dentro del flujo general del SW.

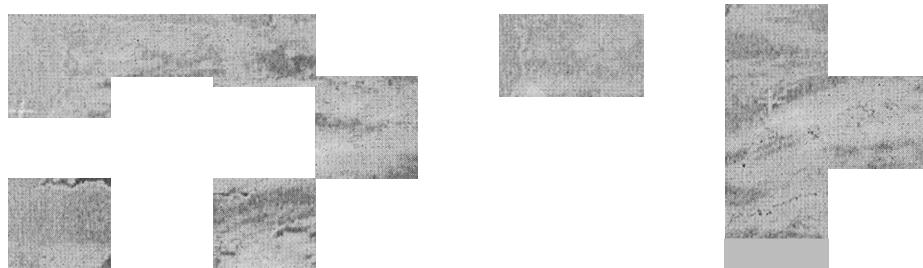


Fig. 19. Imágenes del canal IR de METEOSAT correspondientes a las 15 h 00 min y a las 18 h 00 min

4.2. Mesoescala

Aunque en la imagen de las 20 h 00 min aún se distinguen dos núcleos sobre la costa y prelitoral, a partir de la siguiente y durante todo el período que se estudia, en la resolución de las imágenes IR de Meteosat, se observa una única estructura convectiva. En esta imagen se observa también una célula sobre la *Serralada Transversal* que se traslada hacia el ENE hasta perder casi por completo su identidad entre las 22 h 00 min y las 22 h 30 min.

La evolución de la estructura principal se puede dividir en dos fases. En la primera, se extiende paralelamente al litoral, al mismo tiempo que va alcanzando niveles más altos —progresivo enfriamiento de las cimas—. Los núcleos más fríos están bastante centrados respecto a la estructura en niveles bajos. Esta fase se prolonga hasta poco después de las 21 h 30 min. A partir de esta hora, aproximadamente, el sistema se desplaza perpendicularmente a la costa, perdiendo su forma elongada para adaptar otra que es típica de las supercélulas severas: forma de V con el vértice casi coincidente con la localización de las cimas más frías y apuntando en la dirección de donde provienen los vientos en altura, en este caso del SW.

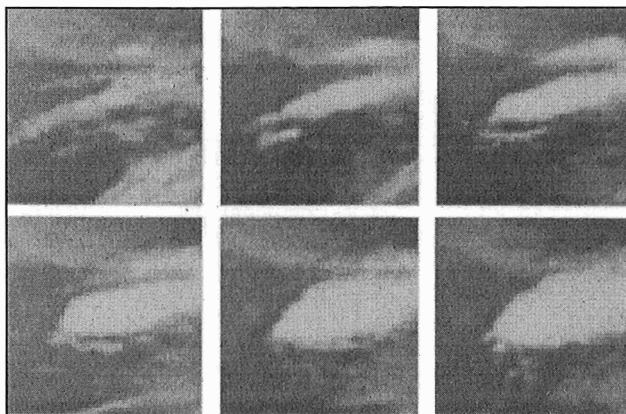


Fig. 20. Imágenes IR de METEOSAT de 20 h 00 min, 21 h 00 min, 21 h 30 min, 22 h 00 min, 22 h 30 min y 23 h 00 min. Barcelona queda aproximadamente bajo el centro del núcleo principal

La disposición elongada en la fase inicial sugiere una relación directa entre la convección y la costa, focalizándose y manteniéndose estacionaria allí durante la fase de crecimiento de la estructura convectiva. Sólo en la fase de madurez es capaz de desvincularse de los factores focalizadores y moverse mar adentro.

Superponiendo a las imágenes isóneas de temperatura de brillo y campos de viento a distintos niveles, se pueden analizar los flujos relativos a la nube. Se observa que en el flanco marítimo de la estructura elongada hay un flujo entrante que se eleva y alcanza la cima de la nube en el vértice suroccidental de la estructura. En esta zona, el gradiente de temperatura de brillo es muy grande, pudiendo reflejar la presencia de una forma abalconada en la célula. Los gradientes son bajos a lo largo del eje principal, corriente abajo del vértice, en el yunque cirroso extendido por los vientos del SW.

5. Estudio cuantitativo de las imágenes

Se ha elaborado una serie de gráficas a partir de las imágenes infrarrojas con el objeto de caracterizar y tipificar la estructura nubosa. Asimismo, se han hecho comparaciones con otros muchos casos recogidos durante los meses de junio, julio y agosto de 1995 en la misma zona.

5.1. Evolución temporal de la temperatura de brillo

En la Fig. 21 se observa cómo desde las 20 h 00 min hasta las 23 h 00 min se van registrando temperaturas de brillo cada vez más bajas, es decir, aumenta progresivamente la altura que alcanzan las cimas de las nubes. A partir de las 23 h 00 min la temperatura mínima de brillo comienza ya a aumentar, aunque es a partir de las 02 h 00 min cuando lo hace más rápidamente. En conjunto, se han observado temperaturas iguales o inferiores a -50°C durante 4 horas.

Mediante un sondeo teórico elaborado a partir de los análisis de temperatura a varios niveles realizados por el modelo Hirlam, se han asignado alturas a estas temperaturas de brillo. Así, -46°C , temperatura de brillo de la cima nubosa más fría en la primera imagen, corresponde aproximadamente a una altura de 9 km. Durante la primera fase del ciclo de vida, la altura aumenta hasta 11 km. En el momento de máximo desarrollo se alcanzan los 12 km, altura ya considerable para un cumulonimbo de estas latitudes. La altitud de la tropopausa es de unos 13 km.

5.2. Evolución temporal del área cubierta por nubes con determinadas temperaturas de brillo

En la Fig. 22 se observa la evolución temporal de la extensión — en km^2 — del área con temperaturas de brillo inferiores a determinados valores. La línea superior corresponde a -34°C y las siguientes a -38 , -42 , -46 y -50°C .

La máxima extensión con temperaturas de brillo inferiores a -34 , -38 y -42°C se alcanza entre las 23 y las 1 horas, mientras que el máximo correspondiente a las temperaturas de -46°C y -50°C se produce antes, entre las 22 y las 23 horas. Este desfase es habitual, ya que una vez que empiezan a perder potencia las corrientes ascendentes aún se está extendiendo el yunque en las capas altas.

El crecimiento más importante del área con temperaturas inferiores a -46°C y -50°C se produce entre las 21 y las 22 horas, cuando ya se habían observado precipitaciones muy importantes. Esta reactivación de las corrientes ascendentes podría ser consecuencia del desprendimiento de calor latente asociado a la masiva condensación de vapor de agua.

Para comprender mejor la evolución de la estructura nubosa se distinguen distintas zonas, cuyas extensiones se representan por:

- AF1, área con temperaturas de brillo inferiores a -50°C ,
- AF2, área con temperaturas de brillo inferiores a -46°C ,
- AC1, área con temperaturas de brillo entre -34 y -50°C ,
- AC2, área con temperaturas de brillo entre -34 y -46°C .

Se consideran las relaciones:

$$\text{RAREAS1} = \text{AF1/AC1} \quad \text{y} \quad \text{RAREAS2} = \text{AF2/AC2}$$

El máximo aumento de RAREAS1 y RAREAS2 se produce entre las 21 y las 22 horas. Este período constituye el de mayor intensidad de la convección, con amplias zonas de corrientes ascendentes. A partir de las 22 horas se produce una disminución rápida de estos valores, sobre todo de RAREAS2. En la Fig. 23 puede verse la evolución temporal de los valores de RAREAS1 —línea discontinua— y RAREAS2 —línea continua—.

Comparando esta estructura con otras estudiadas durante la primavera y el verano del mismo año, se llega a la conclusión de que no se trata de convección muy intensa desde el punto de vista de la extensión y profundidad de las corrientes ascendentes.

6. Evolución temporal del número de rayos

Se observa una tendencia al alza en el número de rayos entre las 19 y las 23 horas, aumentando en más de nueve veces el número de rayos cada 30 minutos. Se observa, sin embargo, una fluctuación, con un mínimo relativo en el intervalo de 22 h 15 min a 22 h 45 min. Analizando el número de rayos cada 15 minutos y viendo su distribución espacial, se ve que esta disminución es debida a la extinción de una de las células individuales, la más septentrional. Por lo tanto, queda claro que este tipo de oscilaciones puede estar asociado tanto a la variación en la profundidad o extensión de la convección, como en el número de centros de producción de descargas eléctricas.

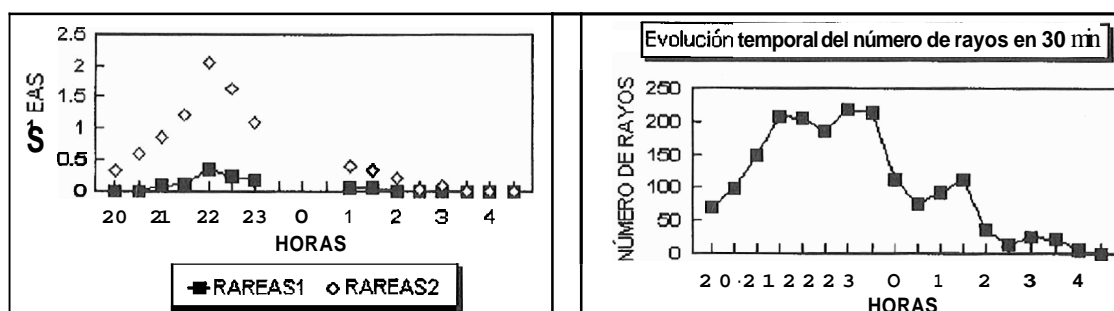


Fig. 21. Evolución temporal de la temperatura mínima de brillo

Figura 22. Extensión de las áreas con temperaturas de brillo inferiores a -34 , -38 , -42 , -46 y -50°C

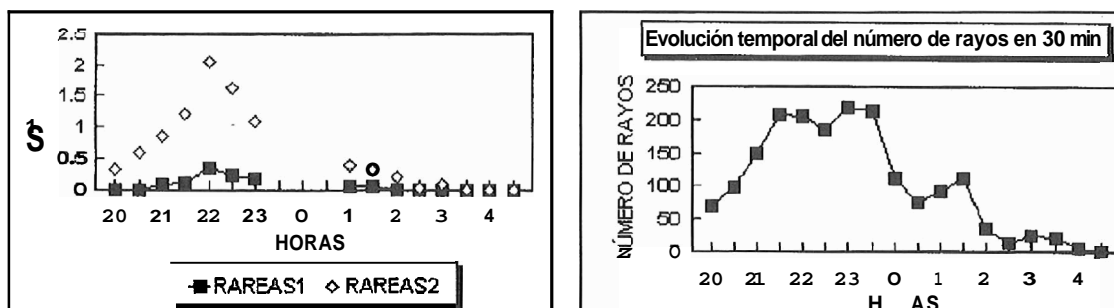


Fig. 23. Evolución temporal de los valores de RAREAS1 y RAREAS2

Fig. 24. Evolución temporal del número de rayos cada 30 minutos

A partir de las 23 horas se produce una disminución casi continua del número de rayos en la zona que se estudia, aunque con algunas oscilaciones. Esta disminución coincide con un aumento casi continuo de la temperatura de brillo. Al interpretar estos hechos hay que tener en cuenta el desplazamiento de la estructura nubosa hacia fuera del área de estudio (entre 40 y 43" de latitud N y entre 0 y 4" de longitud E).

7. Conclusiones

La localización de la zona de máxima precipitación, especialmente durante la primera fase, al SW de la zona con mayor número de descargas, hace pensar que la precipitación se originó en un nivel más bajo de la nube. Al ser casi todas las descargas negativas, se puede pensar que la lluvia cayó desde una altitud no muy grande y, por tanto, que no se produjeron movimientos verticales muy fuertes.

A una conclusión similar se llega tras el estudio de las imágenes IR de Meteosat, sin temperaturas de brillo muy bajas.

El desasollo de las tormentas se produjo en un campo de nubes bajas, probablemente por el enfriamiento radiativo de sus cimas iniciado algo después del ocaso. Su extensión y desplazamiento estuvieron modulados por la geografía local, al menos hasta la fase de madurez de la estructura.

Cabe destacar los diferentes aspectos de un mismo fenómeno y su ciclo de vida observados mediante distintos sistemas de detección. Utilizando todos ellos se puede llegar a un seguimiento más preciso del mismo.

Referencias

Martin, F., 1994: *Caracterización de la actividad tormentosa en la zona centro durante el verano de 1993. Nota Técnica Núm. 19 del STAP. INM.*

Riosalido, R.; A. Rivera; F. Martín, 1989: *Desarrollo de un sistema convectivo de mesoescala durante la campaña PREVIMET Mediterráneo-87. Primer Simposio Nacional de Predictores del INM.*

Varios, 1984: *Thunderstorm Morphology and Dynamics. Univ. of Oklahoma Press.*